

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Napájení kabelových vozů pomocí transformátoru vlastní spotřeby
Feeding of Cable Cars by Self Consumption Transformer

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Krautstengel**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Napájení kabelových vozů pomocí transformátoru vlastní spotřeby**
Feeding of Cable Cars by Self Consumption Transformer

Zásady pro vypracování:

1. Problematika napájení povrchových dólů
2. Transformátory vlastní spotřeby
3. Popis provozního zapojení důlní sítě
4. Možnosti technického řešení napájení kabelových vozů

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Hradílek Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí, VŠB-TUO, Ostrava, 2008
2. Normy ČSN
3. Další literatura podle pokynů vedoucího bakalářské práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

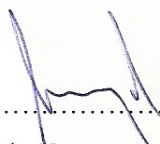



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

Datum odevzdání: 4. 5. 2012



.....
Martin Krautstengel

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval panu doc.Ing. Krejčímu Ph.D. za odborný dohled, cenné připomínky, ochotu a čas, který mi věnoval při tvorbě této bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je v její první části popsat strukturu napájení povrchového dolu Bílina, transformaci a rozvod elektrické energie od zdroje – elektrárny Ledvice, až po jednotlivá těžební zařízení.

V druhé části se práce zabývá řešením problematiky napájení kabelového vozu 6 kV pomocí transformátoru vlastní spotřeby, pro jeho samostatný transport nebo manipulace v jednotlivých těžebních řezech v případech, kdy je tento vůz připojen k napájecímu bodu kabelem 6 kV, ale nemá svůj vlastní dieselaagregát a je příliš vzdálen od svého velkostroje, který jej během těžby napájí. Vzniká tedy nemožnost jeho elektrického připojení běžným prodlužovacím kabelem přímo z elektrické soustavy velkostroje.

V současné době se tyto případy řeší pomocí externího mobilního dieselaagregátu, který tento vůz při transportech a manipulacích napájí.

Klíčová slova

kabelový vůz, transformátor vlastní spotřeby, zakladač, shazovací vůz, elektrárna, transformovna, rozvodna

Abstract

The aim of this thesis is to describe the first part of the power structure of the surface mine Bílina, transformation and distribution of electric energy from the source - Ledvice power station to individual mining equipment.

In the second part of the work deal with the issue of feeding cable car 6 kV by self consumption transformer for the separate transport or handling of individual mining sections, where the car is connected to a power point 6 kV cable, but does not have its own diesel generator and too far from their giant machines that feeds him during extraction. There is, therefore its inability to ordinary electrical extension cord connection directly from the electrical system of giant machines.

Currently, these are solved using an external mobile diesel generator, which supplies this car by transporting and handling.

Keywords

cable car, self consumption transformer, spreader, tripper car, power station, transformer station, substation

Seznam použitých symbolů a zkratek

ABB	Asea Brown Boveri
ČEZ	České Energetické Závody
DB	Doly Bílina
DPD	Dálková pásová doprava
H	Výhřevnost paliva (J/kg)
I	Proud (A)
KVH	Kabelový vůz housenicový
L	Indukčnost (H)
N	Počet závitů vinutí (-)
P	Činný výkon (W)
Q	Teplo (J)
R	Elektrický odpor (Ω)
S	Zdánlivý výkon ($V \cdot A$)
SD	Severočeské Doly
SS	Spojovací skříň
SSH	Spínací stanice typu H
SV	Shazovací vůz
TC	Technologický celek
TS	Transformátorová stanice
TSM	Transformátorová stanice mobilní (přesuvná)
U	Napětí (V)
ÚUL	Úpravna uhlí Ledvice
VN	Vysoké napětí
VSS	Výkonová spínací stanice
VVN	Velmi vysoké napětí
X	Reaktance (Ω)
Z	Impedance (Ω)
Φ	Magnetický indukční tok (Wb)
$\cos \varphi$	Účinník (-)
f	Frekvence (Hz)
p	Převod (-)
t	Čas (s)

Obsah

Úvod.....	1
1 Problematika napájení povrchových dolů.....	2
1.1 Těžební společnost Severočeské Doly	2
1.2 Doly Bílina	2
1.3 Elektrárna Ledvice	2
1.4 Struktura napájení povrchového dolu Bílina.....	4
2 Popis provozního zapojení důlní sítě	7
2.1 Popis dolu.....	7
2.2 Provozní zapojení důlní sítě	8
2.3 Transformovna TSM.....	10
2.4 Napájení jednotlivých těžebních zařízení	12
3 Kabelový vůz	13
3.1 Popis kabelového vozu.....	13
4 Transformátory vlastní spotřeby	15
4.1 Princip činnosti.....	15
4.2 Rozdělení a použití transformátorů	15
4.2.1 Jednofázový transformátor.....	15
4.2.2 Činnost naprázdno.....	17
4.2.3 Činnost při zatížení	17
4.2.4 Napětí nakrátko	18
4.2.5 Účinnost transformátorů.....	19
4.2.6 Trojfázový transformátor	20
4.2.7 Zapojení transformátorů.....	20
5 Technické řešení napájení kabelových vozů	22
Závěr	26

Úvod

Většina kabelových vozů provozovaných na Dolech Bílina je vybavena vlastním dieselaagregátem, který zajišťuje jejich napájení pro transport nebo manipulace v případech, kdy není možno kabelový vůz připojit k elektrické soustavě velkostroje. To se týká zejména případů, kdy je kabelový vůz velmi vzdálen od napájecích míst anebo jsou tyto místa dočasně bez napětí.

Cílem této práce je, kromě popisu napájení povrchového dolu a struktury rozvodů elektrické energie k jednotlivým napájecím místům přímo v dole, především popsat možnost samostatného napájení kabelového vozu z napěťové soustavy 6 kV pomocí transformátoru vlastní spotřeby.

1 Problematika napájení povrchových dolů

1.1 Těžební společnost Severočeské Doly

Severočeské doly a.s. jsou největší hnědouhelnou těžební společností v České republice. Vznikly 1. ledna 1994 spojením Dolů Nástup Tušimice a Dolů Bílina. Působí v Severočeské hnědouhelné pánvi. Zabývají se těžbou, úpravou a odbytem hnědého uhlí a doprovodných surovin. Největším odběratelem je elektrárenská společnost ČEZ, která se stala v roce 2006 jejich jediným akcionářem. [1]

1.2 Doly Bílina

Roční těžba se pohybuje na hranici 10 mil. tun uhlí při cca 53 mil. m³ odklizu nadložních zemin. V současné době je již hornická činnost prováděna pouze na jedné lokalitě. V roce 2010 byla ukončena činnost zakládání nadložních zemin na vnější výsypce Pokrok, na které probíhají rekultivační činnosti. Až do ukončení provozu Dolů Bílina budou všechny nadložní zeminy ukládány pouze na vnitřní výsypku. Při předpokládaných ročních těžbách uhlí v příštích obdobích ve výši 10 mil. tun bude těžba lomu ukončena ve stávajících hranicích daných územně ekologickými limity dle vládního usnesení č. 1176/2008 okolo roku 2035. Vytěžené uhlí na Dolech Bílina v závislosti na jeho kvalitě je upraveno tříděním, drcením a rozdrůžováním v Úpravně uhlí Ledvice na obchodní uhelné produkty tříděného, prachového uhlí a palivových směsí s určením pro široké spektrum odběratelů v průmyslu, energetice, teplárenství a pro komunální spotřebu.

Převážná většina vytěženého uhlí směřuje po úpravě v ÚUL jako palivo pro elektrárnu Ledvice, která je významným zdrojem elektrické energie pro široké okolí. [1]

1.3 Elektrárna Ledvice

Elektrárna Ledvice leží na úpatí východní části Krušných hor, mezi lázeňskými městy Teplice a Bílina. Postavena byla v letech 1966 - 1969 a měla celkový výkon 640 MW.

Po ukončení výstavby byla zdrojová základna elektrárny Ledvice tvořena celkem pěti energetickými výrobními bloky s následujícími výkony: B1 - 200 MW, B2 - 110 MW, B3 - 110 MW, B4 - 110 MW, B5 - 110 MW.

Turbíny jsou koncipovány jako kondenzační rovnotlaké třítělesové jednohřídelové stroje s jedním přehříváním, s osmi neregulovanými odběry páry pro ohřev napájecí vody pohánějící

trojfázové alternátory s cirkulačním chlazením vodíkem. Turbosoustrojí byla dodána výrobcem Škoda Plzeň. Páru pro blok č. 1 (200 MW) a blok č. 2 a 3 (2 x 110 MW) vyráběly průtlačné kotle s jedním přehříváním páry a s granulačním ohništěm. Pro zbývající dva bloky č. 4 a 5 (2 x 110 MW) dodávaly páru dva bubnové kotle s přirozenou cirkulací s jedním přehříváním páry s dvoutahovou spalovací granulační komorou.

K 1. 2. 1994 byl ukončen provoz bloku č. 5 a 31. 12. 1998 ukončil provoz blok č. 1. V letech 1992 - 1994 proběhla u 110 MW bloků č. 2 a 3 výměna turbín, které nyní umožňují dodávku tepla z každého bloku v objemu 170 MW. Odběr dalších 44 MW tepelných umožňuje také turbína bloku č. 4. Turbíny dodala Škoda Plzeň.

V letech 1996 - 1998 proběhla generální oprava turbíny bloku č. 4 a výstavba fluidního kotle. 1. 11. 1998 byl zahájen zkušební provoz bloku č. 4, jako energetického zdroje v blokovém uspořádání turbíny s fluidním kotlem.

Alternátory bloků jsou třífázové, přímým chlazením statorových plechů vodíkem. Tři bloky, s jejichž provozem se nadále počítá, prošly rozsáhlými úpravami. Cílem bylo snížit dopad výroby elektřiny na životní prostředí. K blokům č. 2 a 3 bylo přistavěno odsiřovací zařízení. Bloky č. 2 a 3 byly vybaveny také dalšími zařízeními: moderním řídicím systémem Westinghouse, emise oxidů dusíku se snižují pomocí primárních opatření při spalování, úplně byly rekonstruovány elektrostatické odlučovače. Díky odsíření se dnes pohybují emise popílku kolem 15 mg/Nm³. V roce 1995 byl nainstalován nový vyhodnocovací systém měření koncentrací znečišťujících látek ve spalínách.

Nový fluidní kotel, dodala firma ABB Energetické systémy. Technologie fluidního kotle řeší celý komplex emisí plynů, oxidu siřičitého, oxidů dusíku i oxidu uhelnatého a emisí prachových částic.

V elektrárně Ledvice je spalováno hnědé uhlí o výhřevnosti 11 - 13 MJ/kg z dolů Bílina. Uhlí je dopravováno přímo pásovými dopravníky ze sousední úpravny uhlí Ledvice buď přímo do zásobníků paliva jednotlivých kotlů, nebo na manipulační skládku, která má kapacitu 40 000 t a zajišťuje provoz elektrárny při poruchových stavech v dopravě a těžbě paliva.

Hlavním zdrojem vody je řeka Labe a Všechlapská nádrž, která je zdrojem záložním. Filtrace a úprava vody demineralizací probíhá v moderní chemické úpravně vody, která svými parametry zajišťuje dostatečnou výrobu co do množství a kvality přídavné vody pro parovodní okruh výrobních bloků.

Elektrárna Ledvice kromě výroby elektrické zajišťuje i dodávky tepla pro odběratele v nejbližším okolí prostřednictvím teplárenské společnosti United Energy dodává teplo pro města Teplice a Bílina. Společná výroba elektřiny a tepla v jednom cyklu, tzv. kogenerace, snižuje spotřebu paliva na vyrobenou jednotku energie a tím šetří i životní prostředí.

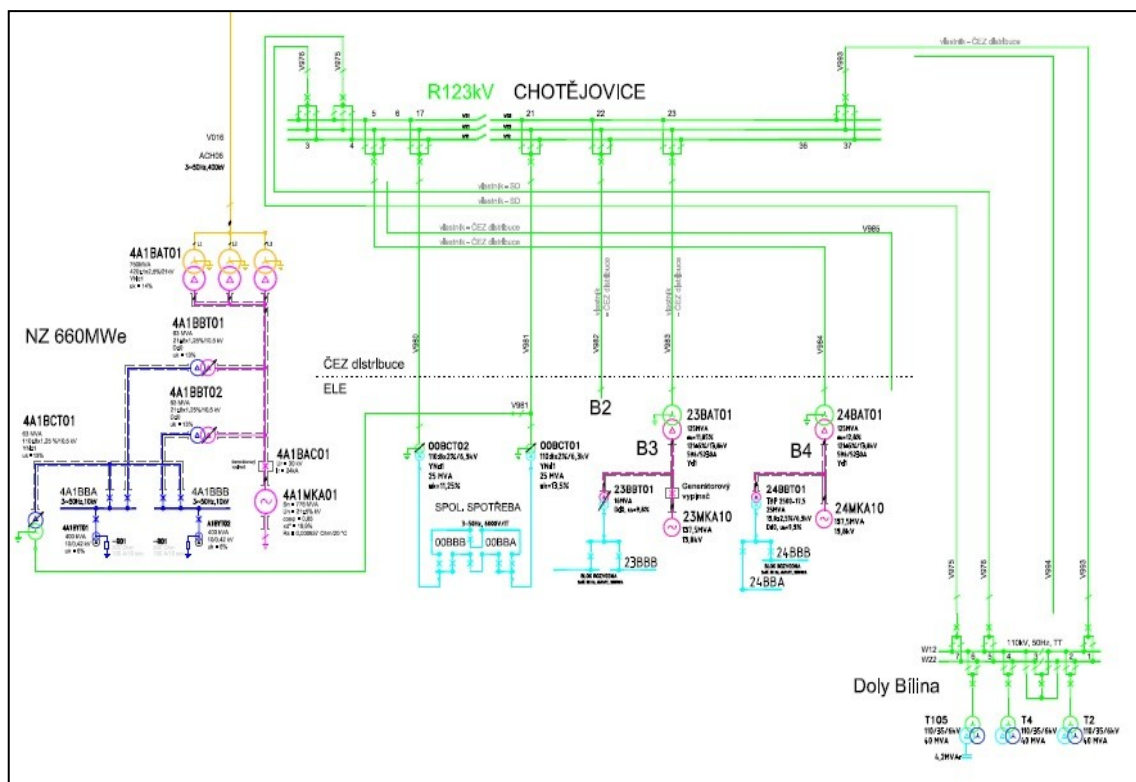
Celková roční dodávka tepla odběratelům je cca 1 000 TJ při maximálním tepelném výkonu 150 MW. Instalovaný výkon pro dodávku tepla je 380 MW, kapacita chemické úpravy vody umožňuje dodat 270 MW do teplených sítí. Elektrárna tedy disponuje značnou výkonovou rezervou, která umožňuje připojení dalších odběratelů (např. město Duchcov) a navýšení dodávek do stávajících lokalit. [2]



Obr. 1 Elektrárna Ledvice, v pozadí povrchový lom Dolů Bílina [4]

1.4 Struktura napájení povrchového dolu Bílina

Zásobování Dolů Bílina elektrickou energií je zajištěno z elektrárny Ledvice I a II, která je lokalizována severně od města Bíliny. Výkon elektrárny Ledvice je vyveden do rozvodny Chotějovice, která má nadregionální význam. Je zde prováděna transformace 220/110/35/22/10 kV. Doly Bílina mají vlastní rozvodnu VVN 110/35 kV, obdobně České dráhy (110/22/3,6 kV).



Obr. 2 Schéma napájení Dolů Bílina z elektrárny Ledvice přes rozvodnu Chotějovice [7]

Z rozvodny Chotějovice je vyvedeno 13 vedení 110 kV a jedno dvojité vedení 220 kV. Rozvody vysokého napětí jsou mezi městy a obcemi realizované venkovním vedením o napěťové hladině 35 a 10 kV, jedinou výjimkou je vedení 22 kV Chotějovice – Oldřichov. Všechny obce jsou napájeny ze systému 10 kV, průmyslové podniky ze systému 35 kV. Výjimku tvoří obec Ledvice, která není napájena z distribučního rozvodu SČE, ale z rozvodny 35/6 kV, kterou provozují Doly Bílina. Samotné město Bílina je napájeno třemi kabelovými vývody z rozvodny Chotějovice (10 kV). Primární síť je kabelová, podstatná část sítě je již izolována na 22 kV.

Do rozvodny Dolů Bílina jsou z rozvodny Chotějovice vedeny čtyři linky vedení VVN 110 kV. Jedna linka je záložní. Zde dochází k transformaci 110/35 kV. K tomu jsou určeny tři transformátory 110/35 kV, každý o výkonu 40 MVA, z nichž jeden je záložní. [3]



Obr. 3 Rozvodna Dolů Bílina

2 Popis provozního zapojení důlní sítě

2.1 Popis dolu

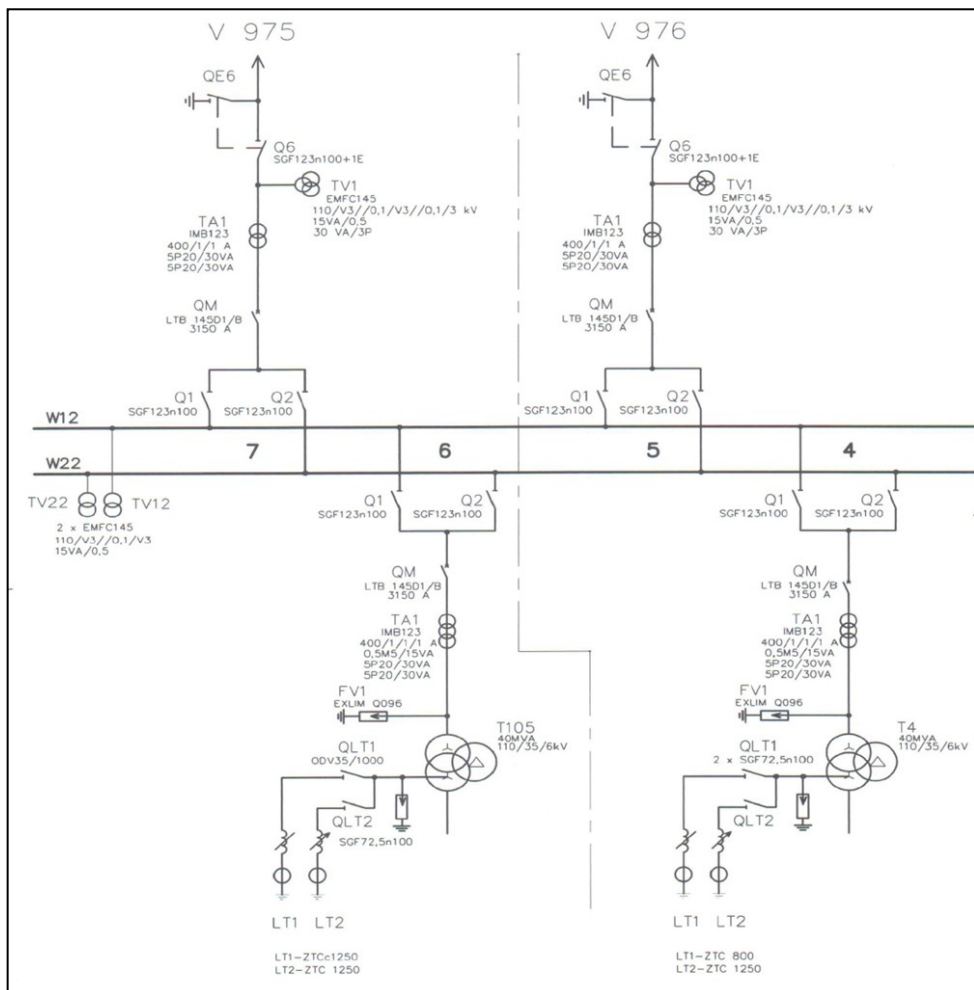
Těžbu skrývky zajišťuje technologický celek řady TC3, skládající se z rýpadla K 10 000, dálkové pásové dopravy šíře 2200 mm a zakladače ZP 10 000, dále technologické celky TC2 tvořené rýpadly KU 800, K 2000 a KK 1300, dálkovou pásovou dopravou šíře gumového pásma 1800 mm až 2000 mm a zakladači ZPD 8000, ZP 5500, ZP 6600 a ZPDH 6300. Na uhelném lomu pro těžbu skrývky nad hlavou uhelné sloje a pro těžbu uhlí jsou nasazena rýpadla KU 300S a K 650 řady TC1. Těžené uhlí z lomu je dopravováno do úpravny dálkovou pásovou dopravou šíře 1200 mm a 1600 mm. Odtěžené skrývkové hmoty nutné k začištění uhelné sloje jsou dopravovány dálkovou pásovou dopravou šíře 1600 mm na vnitřní výsypku k zakladačům ZP 2500 a ZP 3500. Uhlé produkty jsou upraveny v souladu s jakostními požadavky odběratelů v rozsahu uvedeném ve speciálním katalogu. Expedice uhlí je zajištěna pro široké spektrum odběratelů pásovou dopravou, po železnici a automobilovou přepravou. [1]



Obr. 4 Celkový pohled na skrývkovou část Dolů Bílina z výsypné strany

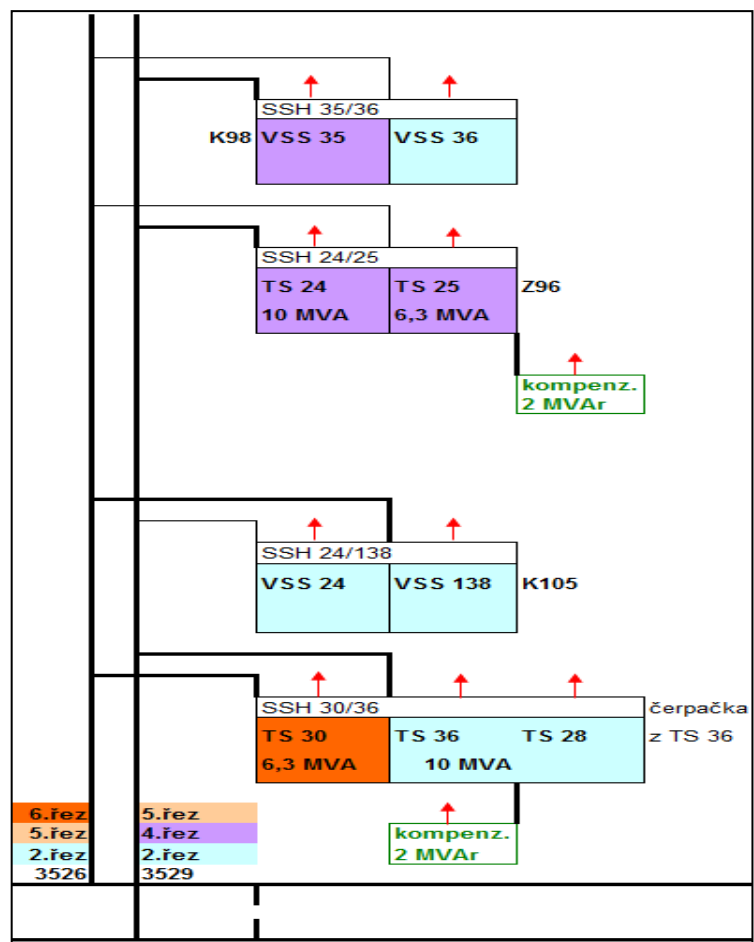
2.2 Provozní zapojení důlní sítě

Jak již bylo popsáno v kapitole 1.4, z rozvodny Chotějovice jsou vedeny do hlavní rozvodny Dolů Bílina čtyři linky vedení VVN 110 kV. Zde dochází k transformaci na napěťovou hladinu 35 kV. Jednopolové schéma je znázorněno na Obr. 5.



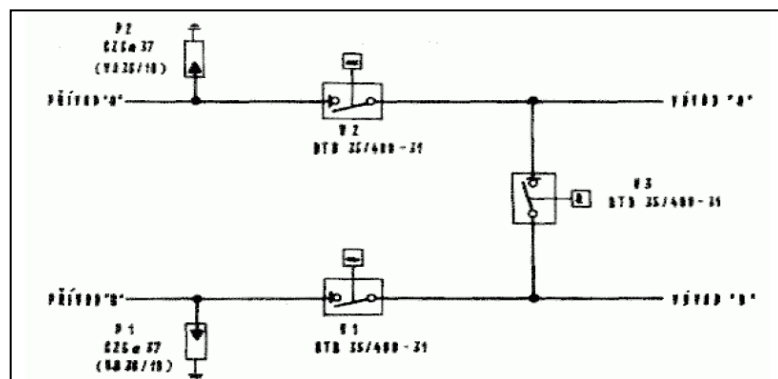
Obr. 5 Zapojení části hlavní rozvodny DB 110/35 kV [11]

Z hlavní rozvodny Dolů Bílina jsou linky 35 kV vedeny stožárovými vedeními až k hraně dolu do jednotlivých výkonových spínacích stanic VSS. Pro skryvkovou část je to severní strana třetího řezu. Schéma části rozvodu 35 kV je na Obr. 6.



Obr. 6 Schéma části rozvodu 35 kV [5]

Do každé VSS jsou vedeny vždy dvě linky VN 35 kV, z nichž jedna je záložní pro případ poruchy nebo údržby. Jejich vzájemné přepínání se provádí ve spínací stanici typu H 35. Je to přemístitelná spínací stanice se třemi odpojovači ve skříňovém provedení a je opatřena transportními ližinami. Přívod je volným vedením 35 kV, vývod kabelem k jednotlivým napájecím místům pro přímé připojení velkostí na soustavu 35 kV, nebo volným vedením do transformovny TSM. Jednopolové schéma SSH 35 je znázorněno na Obr. 7.



Obr. 7 Spínací stanice SSH-35 [9]

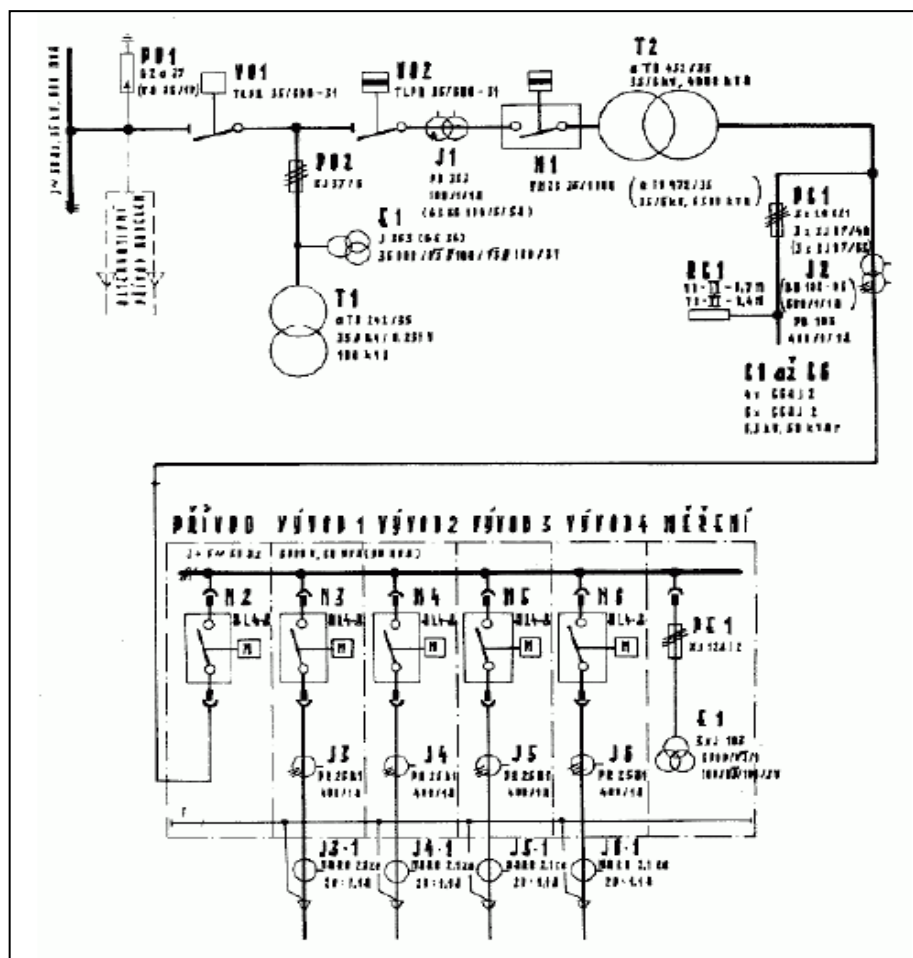
2.3 Transformovna TSM

Přesuvná transformovna TSM je složena z rozvodny 35 kV, z transformátoru 35/6 kV, 10 MVA nebo 6,3 MVA dle provedení, a z rozvodny 6 kV, jak je patrné na Obr. 8.



Obr. 8 Transformovna TSM

Prívod je veden venkovním volným vedením. Transformovna disponuje čtyřmi vývody pro připojení kabelového vedení. Součástí transformovny TSM je měřicí a ovládací pole se signalizací provozních stavů a také transformátor 35/0,4/0,230 kV, 100 kVA, který napájí vytápění, osvětlení a ovládací obvody transformovny. Každý vývod je opatřen zkratovými ochranami a signalizací zemního spojení. Každá TSM je v současnosti vybavena dálkovým řízením z dozorny, umístěné v hlavní rozvodně DB, s možností spínat a vypínat jednotlivé vývody a sledování provozních a poruchových stavů. To je z časových důvodů výhodné zejména při manipulacích s vlečnými kabely při použití manipulačních háků. Jednopolové schéma zapojení TSM je na Obr. 9.



Obr. 9 Transformovna TSM [9]

Z jednotlivých vývodů jsou kabely vedeny na hrany jednotlivých těžebních řezů, kde jsou zakončeny kioskem K 23 nebo spojovací skříní SS 6

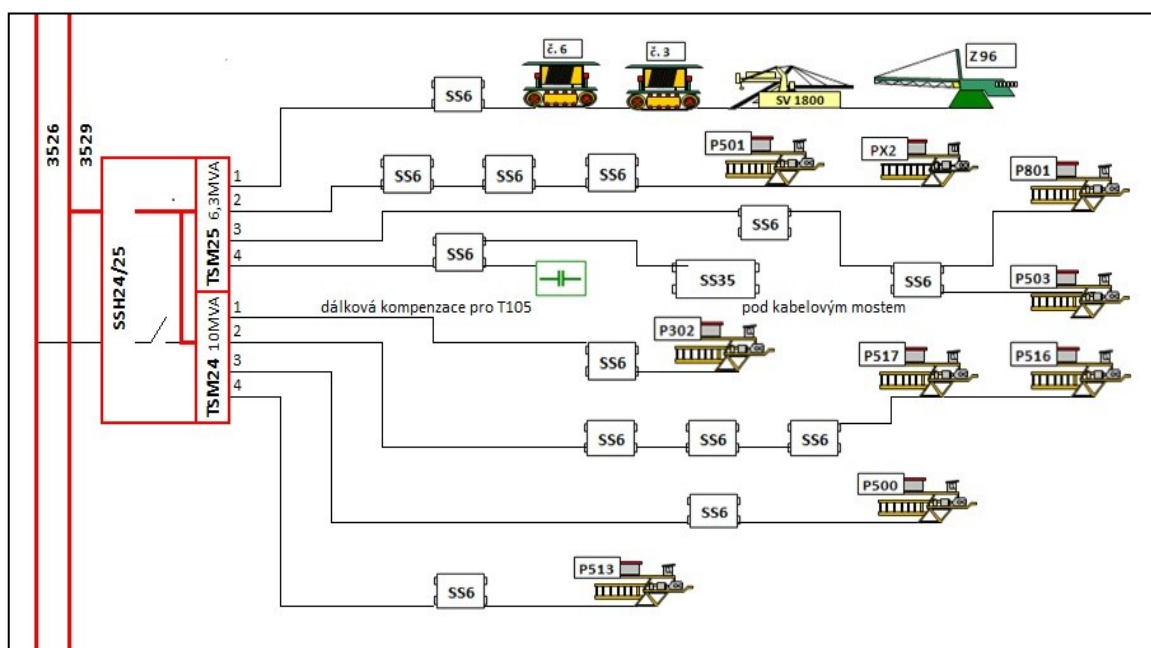
Přesuvný kiosek K 23 je vybaven trojpólovým ručním odpojovačem, olejovým nebo vakuovým vypínačem, nadproudovým relé, proudovými a napěťovými transformátory pro napájení měřících a jisticích přístrojů a optickou signalizací provozního stavu. Kiosek K 23 je vypínacím místem každého dobývacího a základacího velkostroje. Z vypínacího kiosku je veden vlečný kabel do místa spotřeby.

Spojovací skříň SS 6 se používá pro prodloužení kabelového vedení. Spojovací skříň je plechová s uzamykatelným horním odklopným víkem. SS 6 je vybavena třemi podpěrnými izolátory, na které se šroubovými spoji připojují jednotlivé konce kabelových koncovek.

Vodivé kovové části spojovací skříně jsou vzájemně propojeny a k nim je připojen i ochranný vodič vlečného kabelu 6kV, který je uzemněn jak na straně napájecí TSM, tak i na straně velkostroje.

2.4 Napájení jednotlivých těžebních zařízení

Na Obr. 10 je schematicky znázorněno konkrétní zapojení napájecích vývodů TSM pro jednotlivá těžební zařízení, směřování vlečných kabelů, umístění a počet jednotlivých spojovacích skříní SS 6, nebo SS 35 včetně jejich propojení do poháněcích stanic dálkové pásové dopravy DPD, nebo přes kabelové vozy, v tomto případě č. 6 a č. 3, do shazovacího vozu SV 1800 a poté do zakladače Z 96.



Obr. 10 Schéma koncového zapojení části důlní sítě [6]

3 Kabelový vůz

3.1 Popis kabelového vozu

Kabelové vozy jsou určeny pro kráčení velkostrojů v jednotlivých těžebních a zakládacích řezech při pevně připojeném napájecím kabelu a pro snadnou změnu napájecího místa. Podstatné součásti kabelového vozu jsou housenicový podvozek, umožňující jízdu v podmínkách dolu maximální rychlostí $12 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ při maximálním stoupání 1:20, což je převýšení o 5 metrů na 100 metrů pojezdové dráhy kabelového vozu. Dále je to kabelový buben obsahující 1200 až 1500 m ve dvou vrstvách navinutého vlečného kabelu typu 6-HVTDU, nebo nově 6-CHCU $3 \times 120 + 3 \times 16 \text{ mm}^2$. Napájení spotřebičů kabelového vozu při samostatné jízdě obstarává vlastní dieselagregát 75 kVA, většinou typu ČSAD 60-3-500, pokud jím je kabelový vůz vybaven. V běžném provozu, kdy je kabelový vůz připojen na zakladač, je dieselagregát odpojen a vlastní spotřebu KVH kryje hlavní transformátor 6/ 0,525 kV umístěný na zakladači.



Obr. 11 Kabelový vůz

Ovládání všech pohonů je soustředěno do dvoudílného ovládacího pultu v kabině KVH. Všechny silové spínací a jistící prvky jsou v hlavním rozvaděči, umístěném na přední plošině v prostoru částečně chráněném zástěnou proti klimatickým vlivům. [10]

V běžném provozu zakladače je kabelový vůz spojen se zakladačem smyčkou, vedoucí ze spojovacího mostu zakladače na rameno kabelového vozu obsahující kabel 6 kV napojení zakladače a kabel 500 V napojení kabelového vozu. Umístění kabelového vozu u zakladače během normálního provozu musí být takové, aby kabelová smyčka byla pokud možno kolmo na spojovací most zakladače a aby se částečně dotýkala země, čímž se zajistí, že se smyčka nepřekroutí a kabely neuvolní z příchytů.

Vysokonapěťový rozvod na kabelovém voze je proveden kabelem 6-CHCU 3x120+3x16, který je veden od napájecího místa chobotem na řádkovači na buben, přes kroužkový sběrač na odpojovač a přes rameno a smyčku do připojovací skříně na shazovacím voze nebo spojovacím mostě zakladače dle varianty připojení velkostroje. V podstatě jsou možné dvě varianty. V prvním případě je z kabelového vozu veden napájecí kabel 6 kV nejprve na shazovací vůz a odtud odbočkou na zakladač, nebo opačně, nejprve na zakladač a poté odbočkou na shazovací vůz. [10]

4 Transformátory vlastní spotřeby

Transformátor je netočivý elektrický stroj, složený z magnetického obvodu a primárního a sekundárního vinutí. Kromě synchronního alternátoru je nejdůležitějším a nejvýznamnějším strojem v elektrizační soustavě. Většinu transformátorů používáme k přeměně napětí jednofázové nebo trojfázové soustavy daného kmitočtu na jiné napětí stejného kmitočtu. Takto vhodně transformovaná napětí používáme nejen k rozvodu elektrické energie na velké vzdálenosti, ale i k napájení průmyslových objektů, dolů, lomů, sídlišť a obcí. [8]

4.1 Princip činnosti

Do vstupního (primárního) vinutí přichází střídavý proud a tím i elektrická energie. Tato energie je prostřednictvím střídavého magnetického toku v magnetickém jádře předávána dále. Protože magnetický tok periodicky mění svou velikost i směr s kmitočtem vstupního proudu, indukuje se v sekundárním vinutí napětí stejného kmitočtu. [8]

4.2 Rozdělení a použití transformátorů

V elektrárnách se používají transformátory blokové, které tvoří s příslušným alternátorem výrobní jednotku. K vyvedení výkonu z elektráren do sítí různého napětí nebo k vzájemnému spojení těchto sítí se používají tzv. síťové nebo spojovací transformátory.

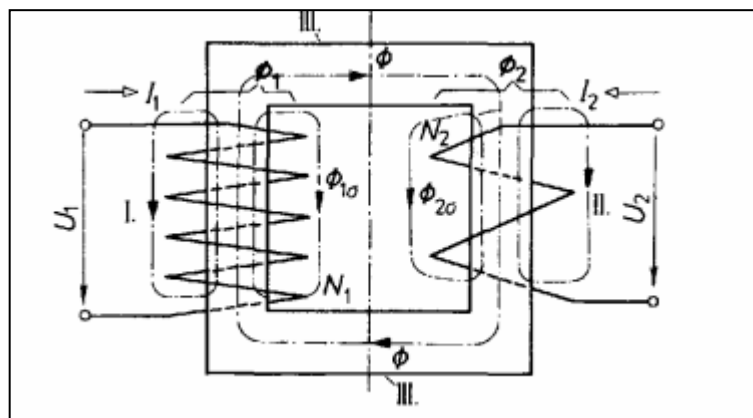
Vlastní spotřeba elektrické energie pro pomocné provozy elektráren se zajišťuje transformátory vlastní spotřeby. Pro zásobování rozvodné sítě se používají transformátory distribuční. Elektrická energie pro přechodná nebo odlehlá pracoviště se zajišťuje pojízdnými transformovkami na železničních nebo silničních podvozcích.

Ke speciálním účelům se používají transformátory: ohřívací, pecové, svařovací, rozptylové, rozmrazovací, natáčivé, spouštěcí, oddělovací, nevýbušné, bezpečnostní, usměrňovačové, trakční, lokomotivní, zkušební, měřicí apod. [8]

4.2.1 Jednofázový transformátor

Základní částí každého transformátoru je magnetický obvod, který je složen z elektrotechnických plechů tloušťky 0,35 nebo 0,5 mm. Na železném jádře jsou navinuty dvě cívky, a to primární - vstupní I, a sekundární - výstupní II. Vinutí jsou ukončena na víku

transformátorové nádoby průchodkami nn, vn nebo vvn. Principiální uspořádání jednofázového transformátoru je patrné z Obr. 12.



Obr. 12 Jednofázový transformátor [8]

Při návrhu transformátoru používáme tyto vztahy:

pro okamžité hodnoty napětí platí:

$$u_1 = N_1 \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}; \quad u_2 = N_2 \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}; \quad \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{u_1}{N_1} = \frac{u_2}{N_2} \quad (1.1)$$

pro efektivní hodnoty napětí a proudu platí:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}; \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (1.2)$$

Převodem transformátoru rozumíme poměr svorkových napětí:

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1.3)$$

Převod transformátorů se udává poměrem napětí při chodu naprázdno, kdy lze úbytky napětí na vnitřních odporech vstupního vinutí zanedbat. Jen u transformátorů do výkonu 5 kVA se udává poměr napětí při jmenovitém zatížení.

Základní vlastnosti transformátorů zjišťujeme z měření naprázdno a z měření nakrátko.

Příkon naměřený při chodu naprázdno se rovná ztrátám v železe a ztrátám vzniklým průchodem proudu naprázdno vstupním vinutím transformátoru. Příkon zjištěný při měření nakrátko se spotřebuje na krytí ztrát ve vinutí transformátoru a na tzv. dodatečné ztráty, které vznikají nerovnoměrným rozdělením proudu ve vodičích většího průřezu a v kovových konstrukcích obklopujících vinutí.

Transformátor je většinou trvale připojen k síťovému napětí, takže stále odebírá příkon ke krytí ztrát naprázdno. Jejich velikost je tedy mírou hospodárnosti provozu transformátoru a rovněž jeho jakosti. Podstatného zmenšení ztrát v železe dosáhneme použitím tzv. orientovaných plechů (válcovaných zastudena), které mají měrné ztráty pouze 0,6 až 0,8 W/kg. [8]

4.2.2 Činnost naprázdno

Činnost naprázdno transformátoru je činnost s buzením vstupu bez zátěže na výstupu. Pro budící zdroj je induktivní zátěž. Při buzení sinusovým napětím vzniká o 90° zpožděný sinusový magnetizační proud a ve fázi s ním indukční tok. Důsledkem střídavého magnetického toku je sinusové napětí ve výstupní cívce, fázově zpožděné o 90° za indukčním tokem.

Reálný transformátor odebírá i v nezátíženém stavu nepatrný výkon, který ohřívá jádro hysterezními ztrátami a vířivými proudy a vinutí úměrně činnému odporu. Proud I_0 naprázdno má oproti vstupnímu napětí nepatrně menší fázové posunutí než magnetizační proud I_m , neboť předmagnetizace železného jádra ztrátovým proudem I_v představuje ztrátový výkon. Účinník $\cos \varphi$ při běhu naprázdno je asi 0,2.

Nezátížený transformátor se chová jako cívka s velkou indukčností. Transformátor může být zničen přivedením vyššího napětí poměrně rychle, protože vzhledem k téměř nasycenému jádru za běžného pracovního režimu začne při přesycení klesat impedance a proud velmi rychle narůstá, což vede k přehřátí vinutí a zničení izolace.

Pro dosažení určité magnetické indukce v magnetickém obvodu je pak zapotřebí větší magnetomotorická síla, protože při rozptylu magnetického pole v oblasti vzduchové mezery se zmenší indukčnost cívky L , tedy i magnetický odpor X_L , vzroste tedy při stejném napětí proud. Proud naprázdno je závislý i na vlastnostech jádra transformátoru. Proud naprázdno je způsoben jenom ztrátami. Kvůli chybějící zátěži je malý účinník (poměr činného a celkového zdánlivého výkonu). Aby byl proud naprázdno malý, zabraňuje se vzniku vzduchové mezery v jádru tak, že jsou E plechy kladeny střídavě proti sobě tak, aby střídavě překrývaly mezeru. E plechy se nasouvají do kostry s navinutou cívkou po vyhnutí středu E plechu střídavě z jedné a druhé strany a doplňují se spojkou. [8]

4.2.3 Činnost při zatížení

Činnost při zatížení je činnost při odběru proudu ze sekundárního (výstupního) vinutí transformátoru. Zatěžovací proud protékající vinutím sekundární cívky zeslabuje podle Lenzova

pravidla příčinu svého vzniku, tj. střídavé magnetické pole. Vstupní proud proto narůstá, zatímco magnetický tok zůstává přibližně konstantní.

V nezatíženém transformátoru prochází téměř veškerý magnetický tok železným jádrem. Při zatížení vytváří proud ve výstupu (sekundárním) vinutí opačně orientovaný (sekundární) magnetický tok, který oslabí primární magnetický tok vstupního vinutí. Vstupní proud pak stoupne tak, že magnetický tok se opět zvýší. Část magnetického toku neprochází jádrem, ale okolím a nazývá se rozptylový magnetický tok a vytváří se kolem každé cívky s jádrem.

Část magnetického toku transformátoru, která prochází jen vstupní nebo jen výstupní cívkou transformátoru, se nazývá rozptylový tok. Kvůli rozptylovému toku transformátoru je nutné ve sdělovací technice jejich odstínění. Cívka, kterou prochází rozptylový tok, působí jako tlumivka. Transformátor se z pohledu svého výstupu chová jako zdroj střídavého napětí, jehož vnitřní odpor (impedance) je tvořen činným odporem a indukčností. Výstupní napětí klesá při činné a při indukční zátěži, ale na roste při kapacitní zátěži. V náhradním zapojení je transformátor zdrojem napětí naprázdno U_1 . Na vnitřním činném odporu R a na vnitřním jalovém indukčním odporu X_L vznikají při zatěžovacím proudu I úbytky napětí. Fázový posun mezi napětím na prázdnou a zatěžovacím proudem je dán typem zátěže. Při indukční zátěži je pokles výstupního napětí U_2 větší než při činné zátěži. Při kapacitní zátěži výstupní napětí naroste, neboť výstupní indukčnost a zatěžovací kapacita spolu vytvoří sériový kmitavý obvod. Proto nesmějí být velké kondenzátory zapojovány samotné do sítě.

Výstupní napětí transformátoru je závislé na velikosti zatěžovacího proudu a na typu zátěže. [8]

4.2.4 Napětí nakrátko

Napětí nakrátko (nebo též zkratové napětí), je ukazatelem proměnlivosti výstupního napětí při změnách zatěžovacího proudu. Napětí nakrátko je takové vstupní napětí, při kterém protéká vstupním vinutím jmenovitý proud I_{IN} při zkratovaném výstupním (sekundárním) vinutí.

U velkých transformátorů (nad 16 kVA) je napětí nakrátko udáváno na štítku transformátoru.

Napětí nakrátko se většinou udává v procentech jmenovitého napětí.

Při měření nakrátko zjišťujeme tzv. procentní napětí nakrátko, které je velmi důležitým parametrem transformátoru.

Procentní napětí nakrátko je dáno vztahem:

$$u_k = \frac{U_k}{U_1} \cdot 100 = \frac{I_1 \cdot Z}{U_1} \cdot 100 \quad (1.4)$$

kde U_k je naměřené napětí nakrátko.

Proud nakrátko se určí podle vztahu:

$$I_{1k} = 100 \cdot \frac{I_1}{u_k} \quad (1.5)$$

Z napětí nakrátko se určí impedance transformátoru podle vztahu:

$$Z = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_1}{I_1} \quad (1.6)$$

Napětí nakrátko bývá u menších transformátorů (do 1600 kVA) 4 až 6 % a u větších transformátorů až 11 %.

Čím větší je napětí nakrátko, tím menší je proud nakrátko, a tím menší jsou i ztráty ve vinutí transformátoru, tj. ztráty nakrátko.

Celkové ztráty transformátoru jsou dány součtem ztrát naprázdno a nakrátko podle vztahu:

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_k \quad (1.7)$$

Velikost napětí nakrátko je dále ukazatelem zdánlivého vnitřního odporu transformátoru. Nízké relativní napětí nakrátko (u_k v %) je známkou malého vnitřního odporu, což znamená, že výstupní napětí při zatížení jen málo poklesne.

Transformátory s malým zkratovým napětím jsou tvrdé zdroje napětí.

Transformátory s velkým zkratovým napětím jsou měkké zdroje napětí. [8]

4.2.5 Účinnost transformátorů

Účinnost je poměr odevzdaného k přijatému činnému výkonu. Odevzdaný výkon je proti přijatému výkonu menší o ztráty v železe (v jádře) a ztráty v mědi (ve vinutí) dle vztahu:

$$\eta = \frac{P_a}{P_a + P_{Fe} + P_{Wi}} \quad (1.8)$$

kde P_a je vydaný výkon, P_{Fe} jsou ztráty v železe a P_{Wi} ztráty ve vinutí.

Magnetický tok v železném jádře nezávisí na zatížení, proto jsou ztráty v železe vždy stejné. Proud tekoucí ve vinutí je závislý na zatížení a ztráty ve vinutí jsou úměrné druhé mocnině proudu.

Jsou závislé na vstupním proudu a tím i na zdánlivém výkonu připojených spotřebičů a ne pouze na jejich činném výkonu.

Čím menší je účinník připojených spotřebičů, tím menší je také účinnost transformátoru.

V nezatíženém transformátoru nevznikají ztráty ve výstupním vinutí a ve vstupním vinutí vznikají jen velmi malé ztráty, které lze zanedbat. Výkon odebíraný transformátorem naprázdno (s nezatíženým výstupem) je prakticky roven ztrátám v železe.

Ztráty v železe se u transformátoru měří při běhu naprázdno.

Při měření zkratového napětí tečou ve vinutích jmenovité proudy a nazývají se ztráty ve vinutí (ztráty v mědi). Při měření napětí nakrátko je při malých napětích velmi malý magnetický tok v jádře a tím téměř žádné ztráty v železe. Výkon odebíraný transformátorem při měření zkratového napětí je prakticky roven ztrátám ve vinutí.

Ztráty ve vinutí se u transformátoru měří při zkratovaném výstupu. [8]

4.2.6 Trojfázový transformátor

Magnetický obvod trojfázových transformátorů se skládá ze tří jader spojených vzájemně dvěma magnetickými spojkami.

Při návrhu transformátorů uvažuje vždy o tom, v kterém místě elektrizační soustavy budou umístěny, a podle toho se rozhoduje, jaké schéma se navrhne pro spojení jejich vnitřních vinutí. [8]

4.2.7 Zapojení transformátorů

Charakteristickým údajem o zapojení vinutí trojfázového transformátoru je tzv. hodinový úhel, který udává fázový posun mezi fázorem vstupního a výstupního napětí v hodinách, přičemž úhel 30° představuje jednu hodinu. Udává vždy zpoždění výstupního napětí za vstupním napětím.

Základní vnitřní napojení transformátorů jsou hvězda (Y, y), trojúhelník (D, d) a lomená hvězda (Z, z). Velkým písmenem se označuje zapojení vinutí s vyšším napětím, malým písmenem zapojení vinutí s nižším napětím.

Zapojení Yy se používá v sítích, v nichž zatížení nulového vodiče nemůže překročit 20 % zatížení fáze nebo v nichž nulový vodič není vůbec vyveden. Větší transformátory potlačují vliv

nesouměrného zatížení pomocným vyrovnávacím vinutím (terciárním), zapojeným do trojúhelníka (Yy 0/d) s převodem např. 110/23/6,3 kV.

Zapojení Dy se používá u výkonů transformátorů nad 400 kVA, je-li jejich nulový vodič vyveden a zatížen (i plně). Vstupní vinutí zapojené do trojúhelníka působí jako vyrovnávací a potlačuje vliv nesouměrného zatížení transformátoru.

Zapojení Yd nepotřebuje vyrovnávací vinutí. Je výhodné pro největší transformátorové jednotky v elektrizační soustavě.

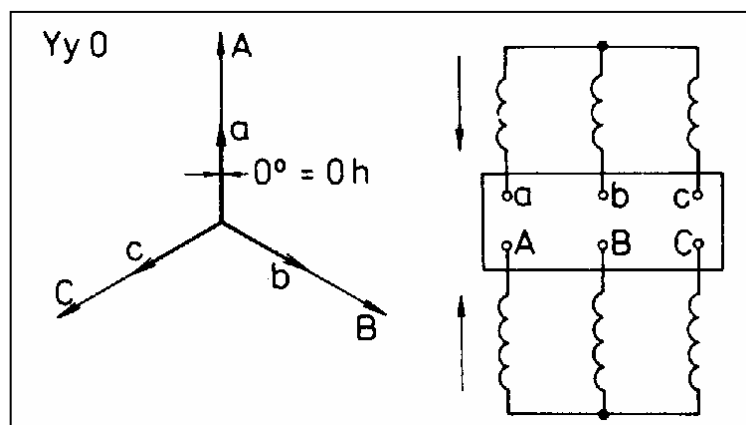
Zapojení Dd se používá u trojfázové skupiny složené ze tří jednofázových transformátorů. Při poruše jednoho z nich spojíme zbývající dva do V, čímž vznikne trojfázová soustava s menším výkonem, ale schopná provozu. Zapojení vinutí se v tom případě označuje Vv.

Zapojení Yz se používá do výkonu transformátorů 315 kVA (400 kVA), které napájejí sekundární síť nn s nesouměrným zatížením nulového vodiče nad 20 % jmenovitého proudu.

Zapojení V lze použít, jak již bylo uvedeno, při poruše některého jednofázového transformátoru z trojfázové skupiny (3 x Dd). Takto lze však spojit i měřicí transformátory napětí při měření v trojfázové soustavě vn a vvn.

Zapojení T (tzv. Scottovo) slouží k přeměně dvoufázové soustavy na trojfázovou a naopak, čehož se využívá k napájení dvou jednofázových úseků elektrické trakce z trojfázové sítě nebo k napájení jednofázových obloukových pecí.

V energetických zařízeních se používá zapojení Yy0, Yd1, Dy1 a Yz1. Jiná zapojení se používají v elektrizační soustavě pouze tam, kde má paralelně spolupracovat nový a stávající transformátor. Výkony trojfázových transformátorů jsou i značně velké, protože výkony turboalternátorů dosahují hodnot nad 1000 MVA. [8]



Obr. 13 Jeden z příkladů nejčastějšího zapojení transformátoru [8]

5 Technické řešení napájení kabelových vozů

Kabelový vůz slouží k napájení zakladače napětím 6 kV. Z jedné strany je k němu pevně připojen kabelovou smyčkou a z druhé odvíjí vlečný kabel ze svého bubnu od přípojného místa, vzdáleného i několik kilometrů. Proto se v případě potřeby zařazuje i více kabelových vozů za sebou. To umožňuje velkostroji kráčet dle báňských postupů prakticky po celé délce skrývkového řezu.

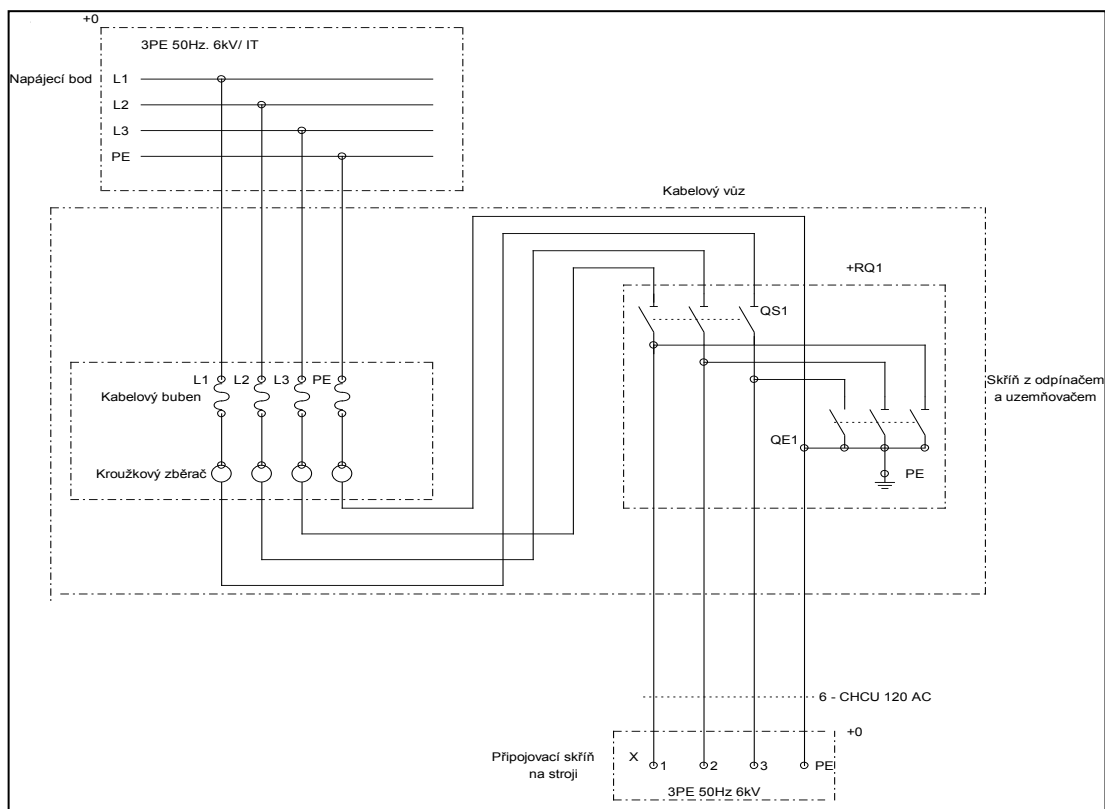
Kabelový vůz se tedy nachází v těsné blízkosti velkostroje a pohybuje se spolu s ním.

Pro svou vlastní činnost (pojezd, odvíjení a navíjení bubnu, osvětlení, vytápění kabiny řidiče) je KVH napájen ze soustavy 3x500 V velkostroje prodlužovacím přívodem.

V případě přestaveb technologického celku, při různých manipulacích nebo při dlouhých přesunech samotného KVH je napájen z vlastního dieselagregátu 75 kVA, pokud je jím vybaven.

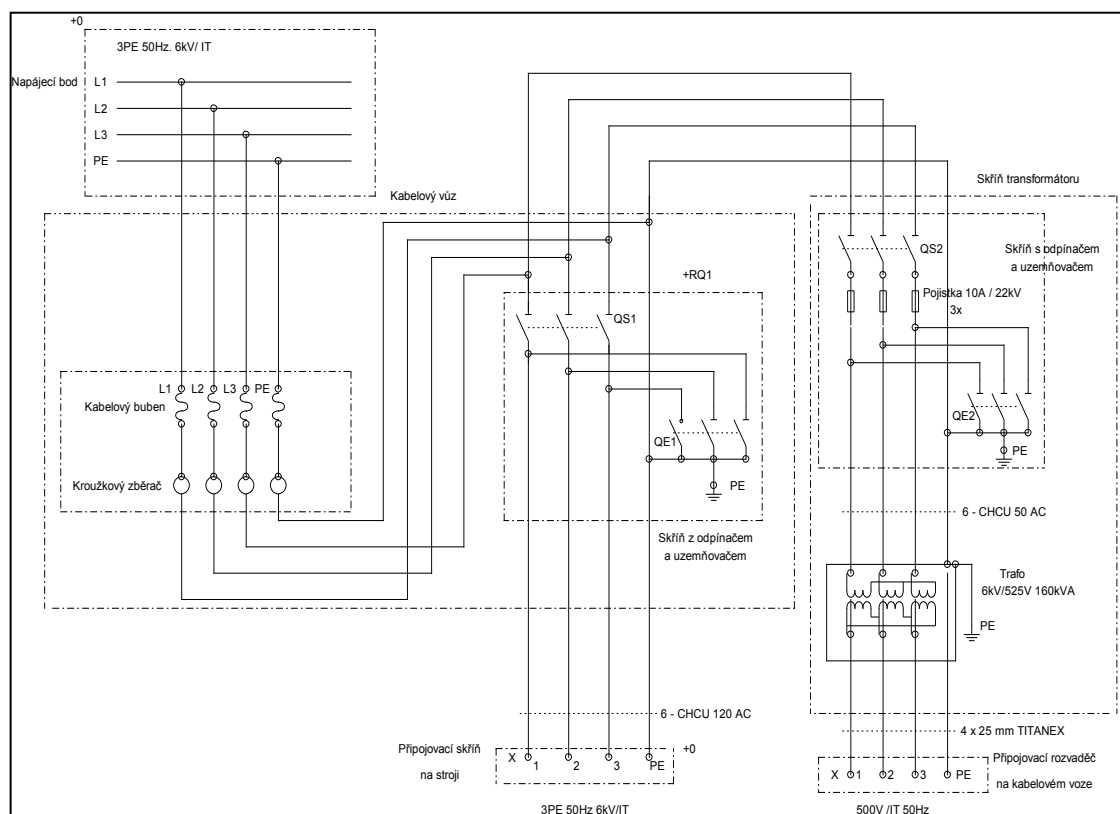
Pro kabelové vozy bez vlastního dieselagregátu je k dispozici mobilní agregát, který se musí ke stroji dovézt, natankovat naftou, připojit a zajistit pojezd spolu s kabelovým vozem.

Z důvodu značné časové náročnosti této přípravy vznikl návrh napájet KVH přímo ze soustavy 6 kV, která kabelovým vozem pouze prochází, jak je patrné ze schématu na Obr. 14.



Obr. 14 Původní zapojení vn části KVH

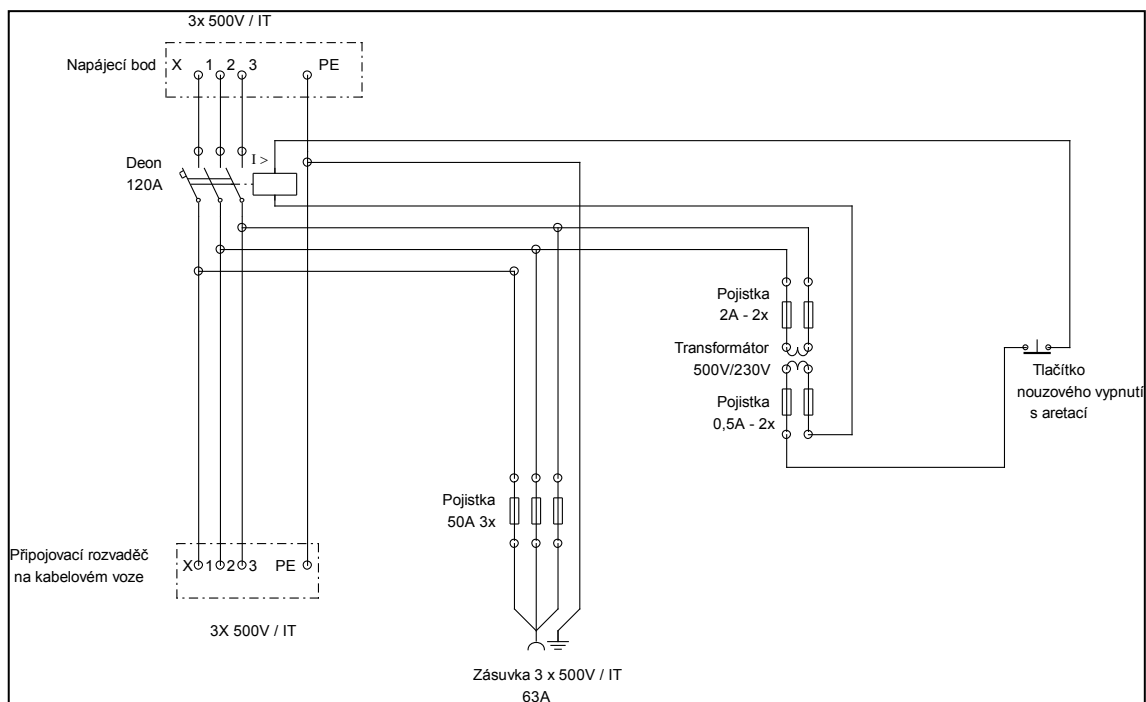
Úprava spočívá v tom, že se na KVH umístil transformátor 6/0,525 kV, 160 kVA, který slouží pouze ke krytí vlastní spotřeby kabelového vozu. Z odpínače v rozvaděči RQ1 se provedla odbočka, kterou je tento transformátor napájen přes vlastní odpojovač a pojistky. Celé toto zařízení vn bylo umístěno do plechové rozvodny při respektování platných norem ČSN. Schéma zapojení úpravy je na Obr. 15.



Obr. 15 Zapojení vn části KVH po úpravě

Ze sekundární strany transformátoru byl připojen deon 120 A, venkovní zásuvka 3 x 525 V, 63 A, obvod nouzového vypnutí s aretačním tlačítkem.

Provedení je patrné z Obr. 16.



Obr. 16 Zapojení pomocných obvodů



Obr. 17 Celkový pohled na rozvaděč



Obr. 18 Detail části vn uvnitř rozvaděče

Závěr

Popisovaná úprava v této bakalářské práci spočívá v tom, že byl namontován transformátor vlastní spotřeby na kabelový vůz, na kterém není dieselagregát jeho pevnou součástí. Tento transformátor zajišťuje vlastní spotřebu celého kabelového vozu.

Výhodou této úpravy je především časová úspora v případech, kdy dochází k manipulacím s kabelovým vozem při přestavbách. Dříve bylo potřeba dopravit mobilní dieselagregát k tomuto kabelovému vozu, nějaký čas si vyžádalo jeho zprovoznění, zapojení apod.

Další výhodou je, že v případě provozu již nemusí být kabelový vůz napájen z elektrické soustavy velkostroje a tudíž mohl být zrušen prodlužovací přívod. Tento kabel byl velice náchylný zejména k poškození svého pláště při pojezdech a manipulacích při kráčení velkostroje a tak musela být zajišťována jeho oprava, nebo výměna za nový.

V případech, kdy není kabelový vůz připojen k napájecímu místu 6 kV a je vyžadován jeho dlouhý přesun, například mezi jednotlivými skrývkovými řezy, musí být stále napájen z mobilního dieselagregátu. Ovšem k těmto přesunům dochází velmi zřídka.

Takto upraveny byly již tři kabelové vozy a jsou provozovány bez větších problémů. Jeden u velkostroje na čtvrtém skrývkovém řezu a dva na druhém.

Seznam použité literatury

ELEKTRONICKÉ ZDROJE

- [1] *Severočeské Doly*. [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z:
<http://www.sdas.cz/showdoc.do?docid=4>
- [2] *Elektrárna Ledvice*. [online]. [cit. 2012-03-03]. Dostupné z:
<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/ledvice.html>
- [3] *Územní plán - Energetika. Město Bílina*. [online]. [cit. 2012-02-16]. Dostupné z:
<http://www.bilina.cz/urad/uzemni-plan-energetika>
- [4] DE VOJNÍKOV, Juan. *Elektrárna Ledvice z Milešovky*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-03-13]. Dostupné z:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Elektr%C3%A1rna_Ledvice_z_Mile%C5%A1ovky.JPG
- [5] *Základní schéma rozvodu 35 kV: Linky volného vedení*. [online]. [cit. 2012-01-18]. Dostupné z: vnitřní databáze Intranetu DB
- [6] *Rozvody VN - Doly Bílina: Přehledové schéma*. [online]. [cit. 2012-02-22]. Dostupné z: vnitřní databáze Intranetu DB
- [7] *Přehledová schémata přenosu a ochran: Stávající stav - Varianta 0* [online]. [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: vnitřní databáze Intranetu DB
- [8] ISS - COP. *Elektrické stroje: Transformátory*, skriptum ISS Valašské Meziříčí [online]. [cit. 2012-03-26]. Dostupné z:
<http://www.jsmilek.cz/skripta%20pdf/esp%208%20trafa%20skripta.pdf>
- [9] KOLÁŘ, Václav. FEI, VŠB-TU Ostrava. *Rozvody elektrické energie v dolech a lomech* [online]. 2004 [cit. 2012-03-07]. Dostupné z:
http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/rozvody_lomy/11_rozvody_lomy.pdf

OSTATNÍ ZDROJE

- [10] VŽKG OSTRAVA, pobočka Teplice. *Návod na obsluhu a údržbu KVH 3: Část elektro*. Teplice, 1971.
- [11] ABB. *Modernizace hlavní rozvodny na Dolech Bílina: Jednopolové schéma - rozvodna 110/35 kV*. 2011.